



Département Amélioration des
Méthodes pour l'Innovation
Scientifique
Cirad-amis

RAPPORT FINAL 1997

PROJET CORDET

VALORISATION DES PRODUITS DE LA PECHE
A OUVÉA

Antoine COLLIGNAN
Aude HUSSENET
CIRAD-AMIS n° 17/98

TABLE DES MATIERES

1- PRESENTATION DU SUJET	4
1.1 Contexte de l'étude	4
1.2 Objectifs visés	5
2- BIBLIOGRAPHIE SUR LES PROCEDES DE TRANSFORMATION	5
2.1 Les procédés de salage/séchage/fumage	5
2.1.1 Principe du salage	6
2.1.2 Principe du séchage	6
2.1.3 Principe du fumage	6
2.2 La technique de DII	11
2.3 Le marinage	13
2.3.1 Généralités	13
2.3.2 Technique du marinage	13
2.3.3 Effets des solutés	14
2.3.4 Aspects chimiques du marinage à froid	14
3- MATERIELS	15
3.1 Matières Premières	15
3.1.1 Saumon	15
3.1.2 Espèces du lagon d'Ouvéa	15
3.2 La ligne pilote : principe de fonctionnement	16
3.2.1 Conditions de traitement en DII	16
4- METHODES	19
4.1 Le traitement par DII: Protocole opératoire	19
4.2 Le fumage: Protocole opératoire	20
4.3 Techniques d'analyses	21
4.3.1 Prise en compte de l'erreur expérimentale	21
4.3.2 Mesure de la teneur en eau et de la perte en eau	21
4.3.3 Mesure de la teneur en sel et du gain en sel	22
4.3.4 Dosage des phénols	22
4.3.5 Bilan matière	24
4.3.6 Mesure du pH des produits marinés	25
4.3.7 Dégustation des produits	25
5- RESULTATS ET DISCUSSION	26
5.1 Essais préliminaires de DII/fumage sur le saumon	26
5.1.1 Objectifs	26
5.1.2 Résultats	26
5.2 Essais de DII/fumage sur les poissons d'Ouvéa	28
5.2.1 Objectifs	28
5.2.2 Résultats	29
5.3 Marinage	32

5.3.1 Objectifs	32
5.3.2 Essais préliminaires	32
5.3.3 Marinage des poissons de lagon	33
5.4 Conclusions des essais	33
6- PRESENTATION DES PRODUITS EN NOUVELLE CALEDONIE	35
6.1 Caractéristiques des filets présentés	35
6.2 Préparation des produits	35
6.3 Evaluation des produits par les personnes concernées	36
7- TRAVAIL RESTANT A REALISER EN VUE DE L'IMPLANTATION D'UNE UNITE ARTISANALE EN NOUVELLE CALEDONIE	37

1- présentation du sujet

1.1 Contexte de l'étude

La pêche est l'un des trois secteurs-clef conditionnant le développement économique de l'île d'Ouvéa, les deux autres étant le coprah (dont on extrait l'huile de coco pour la fabrication de savons, de produits cosmétiques ou plus récemment de biocarburant) et le tourisme. En outre, ce secteur bénéficie d'atouts majeurs : d'une part, un potentiel halieutique très élevé, comme le montre une étude de l'ORSTOM, et d'autre part l'absence de *ciguatera*, parasite qui touche bon nombre de poissons de lagon en les rendant impropres à la consommation.

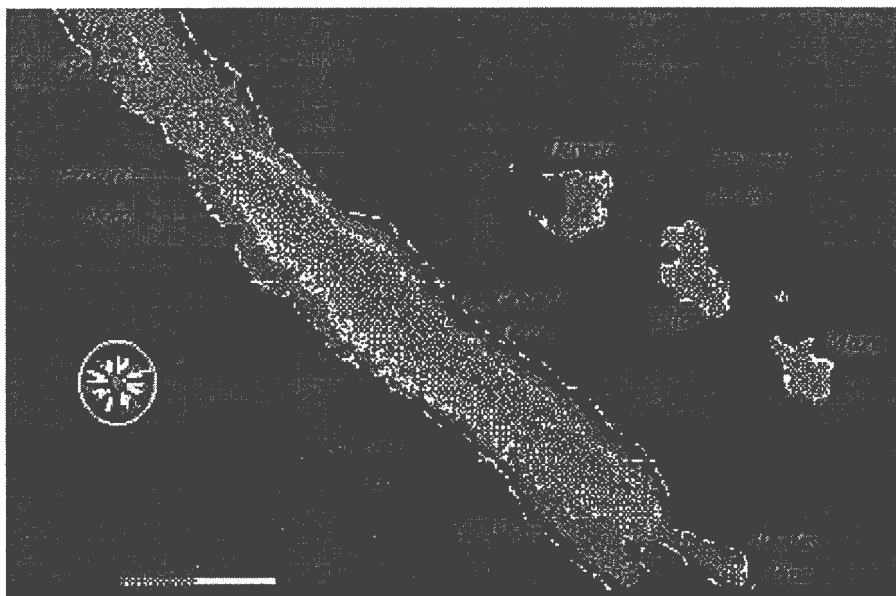


Figure 1 : Carte de Nouvelle-Calédonie

Cependant, la pêche ne constitue pas une activité économique en tant que telle, car l'écoulement du produit n'est pas garanti. Les pêcheurs de l'île ne pratiquent qu'une pêche vivrière, qui couvre essentiellement les besoins familiaux.

C'est pourquoi il semble nécessaire d'organiser la filière plus en aval de la production, en mettant en place une activité de transformation et de commercialisation de produits compétitive et rémunératrice. La mise en place d'une pêche industrielle à grande échelle, destinée aux produits peu élaborés tels que les conserves ou les surgelés, serait préjudiciable à l'équilibre écologique du lagon.

C'est dans ce contexte qu'a été retenu le procédé de fumage pour valoriser la production de poissons : ce procédé présente l'avantage de positionner les produits obtenus sur un marché haut de gamme, à l'instar du saumon, dans une île où le tourisme (notamment japonais) représente une bonne opportunité pour l'écoulement des produits. En effet, le regain d'intérêt manifesté pour les produits fumés, associé aux avantages liés à leur durée de conservation,

fondent tout l'intérêt de la valorisation de la production de poissons du lagon d'Ouvéa, connaissant son potentiel halieutique et ses atouts.

1.2 Objectifs visés

La DII appliquée aux produits carnés est un process désormais relativement bien maîtrisé, puisque la licence d'exploitation du brevet développé par le CIRAD et l'IFREMER a été cédée à un équipementier. Le cadre général de ce travail va résider dans l'adaptation du procédé au traitement de poissons de lagon d'une part et dans son application au niveau artisanal en utilisant les ressources et les conditions propres à l'île d'Ouvéa d'autre part. Par exemple, le traitement va s'effectuer en batch, et non en continu comme c'est le cas au niveau industriel. De plus, l'opération de fumage, complémentaire à la DII, a pour vocation unique le fumage du produit (et non le séchage), ce qui permet l'utilisation d'un fumoir simplifié, conçu et réalisé au CIRAD et utilisé dans le cadre de cette étude.

Un premier travail a été réalisé entre septembre 96 et février 97 et a fait l'objet d'un premier rapport (CIRAD-SAR n° 23/97). Il a permis la réalisation d'un ligne pilote de salage/séchage/fumage, son test au travers d'essais préliminaires de transformation sur plusieurs espèces de poissons ainsi que la définition des protocoles expérimentaux.

Cette étude s'inscrit dans la lignée des travaux déjà effectués et consiste à optimiser le procédé de salage/séchage/fumage sur les poissons du lagon et à réaliser des essais de marinage sur ces mêmes poissons, en vue de la préparation d'échantillons destinés à être présentés au cours d'une mission en Nouvelle-Calédonie fin 1997.

2- BIBLIOGRAPHIE SUR LES PROCÉDES DE TRANSFORMATION

2.1 Les procédés de salage/séchage/fumage

Le salage/séchage/fumage est l'un des procédés les plus anciens utilisé pour la conservation des produits carnés (Sainclivier, 1985). Bien que pour de nombreux pays le fumage du poisson reste traditionnellement un moyen de conservation, il n'en est pas de même pour les pays industrialisés, où l'objectif de ce procédé réside plutôt de nos jours dans le fait de conférer au produit fumé une couleur et une saveur particulières. La tendance actuelle du point de vue des consommateurs irait même vers des produits légèrement salés et faiblement fumés (Knockaert, 1990).

2.1.1 Principe du salage

L'objectif premier est la conservation des aliments. En effet, le salage provoque l'élimination d'une partie de l'eau de constitution : la déshydratation obtenue contribue alors à baisser l'activité de l'eau, qui de ce fait est moins disponible pour la croissance des germes. Le sel sélectionne les flores en fonction de l'activité de l'eau, inhibe la multiplication de la plupart des bactéries intervenant dans l'altération, mais favorise la croissance des halophiles. Ses effets dépendent de sa concentration : à partir d'une concentration de 5 %, le sel inhibe la plupart des bactéries anaérobies et les *Pseudomonas*, et ralentit la croissance des bactéries aérobies. Au niveau organoleptique, ce sont des produits dont la teneur en sel est de l'ordre de 3 % qui ont la préférence des consommateurs : à cette concentration, le salage n'a que peu d'effet sur la croissance bactérienne ; il provoque un raffermissement des chairs, empêche la décoloration et confère un certain goût au poisson (Knockaert, 1990).

2.1.2 Principe du séchage

Le séchage permet de stabiliser le produit ayant subi auparavant un salage, et ce en éliminant une partie de l'eau « libre ». Cette dernière peut en effet représenter un vecteur de contaminations diverses, et elle est impliquée dans les processus de dégradation du produit. La qualité du séchage dépendra de la maîtrise de trois paramètres : la température, l'hygrométrie et la ventilation.

2.1.3 Principe du fumage

Le poisson salé/séché est soumis à l'action de la fumée provenant de la combustion de bois, dans le cas d'un procédé traditionnel. Au cours de cette phase, le poisson continue à se déshydrater tout en s'imprégnant des composés volatils de la fumée. Le produit acquiert par cette opération un goût et une couleur particuliers, le faible degré de fumage actuellement recherché n'assurant que très partiellement l'action antioxydante et bactériostatique (la conservation étant principalement assurée par les opérations préliminaires au fumage et le maintien du produit fini à +2°C; emballé sous vide). La qualité des produits fumés dépend de la composition de la fumée, de la nature du bois, de sa température de combustion, ainsi que des paramètres de traitement.

On distingue différents types de fumage :

- le fumage à chaud ; les températures élevées (>30°C) conduisent à des produits fumés et cuits.
- le fumage traditionnel à froid (<30°C) : le poisson, après fumage à une température inférieure à 30°C, reste cru.

En outre, le dépôt de fumée peut se faire soit de façon naturelle, soit de façon accélérée : les constituants solides et liquides de la fumée peuvent être chargés électrostatiquement et précipités sur le produit à fumer. Ce fumage électrostatique permet de réduire considérablement les temps de traitement, ce qui offre un intérêt pour les fumages longs à froid, mais il a l'inconvénient de fixer plus d'hydrocarbures polycycliques cancérigènes.

Enfin, la fumée utilisée peut être issue de la pyrolyse du bois ou bien il peut s'agir de fumée liquide : il s'agit d'atomiser un arôme de fumée liquide se présentant sous la forme d'une solution très concentrée dans une enceinte close contenant les produits à fumer (Knockaert F., 1994).

Composition de la fumée

Composition physique de la fumée

La fumée est obtenue par la combustion lente et incomplète du bois : pour qu'elle garde un maximum de substances actives, la quantité d'air fournie est limitée, la combustion est incomplète, et une grande partie des composés volatiles est imbrûlée.

La fumée est constituée de deux phases en équilibre (Knockaert, 1990) :

- une phase vapeur continue (les constituants les plus volatils), qui donne au produit l'essentiel de son goût et de sa couleur ;
- une phase particulaire (ou phase dispersée) constituée de fines gouttelettes en suspension.

Les substances chimiques les plus volatiles et qui sont absorbées par le poisson se trouvent principalement dans la phase vapeur. Elles se dissolvent dans l'eau superficielle du poisson.

La phase particulaire représente environ 90 % de la fumée. Ses particules de 0.1 microns en moyenne sont peu solubles et ont des points d'ébullition élevés.

Pour un constituant donné, à une température définie, il y a un équilibre entre forme gazeuse et forme dissoute dans la phase particulaire. Quand une partie de la phase gazeuse est absorbée par le produit mis dans le fumoir, une partie de la phase liquide se vaporise et renouvelle la phase gazeuse au fur et à mesure de son absorption ; la phase liquide joue le rôle de réservoir.

Composition chimique de la fumée

La composition de la fumée de bois est extrêmement complexe : elle comprend plus de 200 constituants. En plus de l'air, du gaz carbonique et de la vapeur d'eau, on trouve principalement quatre grandes familles de composés organiques :

- les phénols : responsables des arômes typiques, de l'action antioxydante et antiseptique
- les carbonyles et les acides : responsables des différences dans les saveurs
- les alcools
- les hydrocarbures polycycliques aromatiques : certains sont cancérigènes, comme le 3-4 benzopyrène.

Différents paramètres au niveau de la production de fumée influencent sa composition : température, quantité d'air lors de la pyrolyse, hygrométrie de la sciure, nature du bois utilisé... A titre d'exemple, un bois très humide produit une fumée riche en acides et composés

carbonylés, et pauvre en phénols d'où une saveur du produit fumé plus acide. De ce fait, l'optimum semble être une humidité de 17 à 20 % dans les copeaux ou éclats.

Actions de la fumée

Action organoleptique

Flaveur

Les phénols semblent être les principaux responsables de l'arôme, notamment le syringol. Ils sont aussi à l'origine du goût de fumé, particulièrement le guaïacol et l'eugénol. En outre, la flaveur dépendra surtout de l'essence utilisée (on préférera les bois durs).

Couleur

Les composés carbonylés apportent une couleur variant du jaune doré au brun foncé. Le brunissement est provoqué par la réaction entre les composés carbonylés de la fumée et les amines de la chair. La couleur est d'autant plus prononcée que le fumage dure longtemps. Elle dépend également de la nature du bois consommé : par exemple, la fumée produite à partir de résineux conduit à une couleur plus foncée que celle produite à partir de bois durs.

Texture

La pellicule brillante et lustrée qui se forme sur la surface sèche de la chair pendant le fumage résulte de l'action du formaldéhyde de la fumée qui coagule les protéines avec l'aide des acides volatils. La texture est due à la température de séchage : chair molle et tendre dans le cas du fumage à froid, chair plus dure et plus sèche dans le cas du fumage à chaud.

Action chimique

La formation d'acides entraîne une légère baisse du pH qui améliore la conservation. Les phénols ont une action antioxydante sur les lipides des poissons : ils inhibent la phase de propagation de l'autooxydation. L'action antioxydante de ces phénols est effective dans le cas du fumage à froid, ce qui peut retarder la survenue du goût de rance au produit. Mais dans le cas du fumage à chaud, au bout d'un certain temps, l'oxydation des graisses augmente d'autant plus rapidement que la température de fumage est élevée. En outre, la chaleur, surtout dans le cas du fumage à chaud, conduit à la dénaturation partielle des protéines, d'où une baisse du coefficient d'efficacité protéique.

Action bactériologique

La fumée peut avoir un rôle antiseptique grâce à la fraction phénolique à bas point d'ébullition qui prolonge la phase de latence des micro-organismes.

Les mécanismes du dépôt et de la pénétration de la fumée

Au début du fumage, la fumée est au contact d'une surface humide : il y a dissolution des éléments de la phase gazeuse entrant en jeu et la quantité de phénols absorbée par la surface, à ce stade, est proportionnelle à la concentration des phénols dans la phase gazeuse. Puis, le temps s'écoulant, la fumée est au contact d'une surface de plus en plus sèche et la phase particulaire se dépose surtout par gravité (coalescence des fines gouttelettes en gouttelettes plus grosses) et sous l'effet de la turbulence. Le taux de dépôt des constituants de la fumée sur le poisson diminue considérablement lorsque la surface s'assèche.

C'est la quantité de fumée absorbée par la surface qui déclenche le mécanisme de diffusion de ses divers constituants vers l'intérieur de la chair (appelé « pénétration de la fumée »). Le mélange complexe de la phase gazeuse diffuse dans les tissus après dépôt. Les principes fondamentaux de la diffusion sont connus mais, dans le cas du fumage, la concentration dans la couche limite (en surface du poisson) varie constamment avec le temps. Le mécanisme de diffusion ne répond à la loi de Fick qu'en fin de fumage et au cours du stockage pendant lequel la pénétration se poursuit.

Une semaine est nécessaire après le fumage pour observer une diffusion profonde de certaines substances.

Paramètres influençant le dépôt de la fumée

Humidité du produit à fumer

Le taux d'absorption de la fumée augmente avec l'humidité. En effet, la fumée est absorbée par la chair par l'intermédiaire de l'eau interstitielle, mais aussi partiellement par la phase lipidique.

Si le poisson est sec, les phénols les plus hydrophiles de la phase gazeuse se déposent jusqu'à saturation de la phase aqueuse. Celle-ci étant faible, la quantité de phénols dissoute est peu importante.

Si le poisson est humide, les phénols se dissolvent dans l'eau interstitielle et dans la phase lipidique (de ce fait, les poissons gras ont tendance à être mieux fumés que les poissons maigres) jusqu'à saturation par rapport à leur pression partielle dans la fumée.

Humidité de la fumée

A chaque température de fumage correspond une valeur d'humidité relative optimale. Le taux d'absorption de la fumée, lors du fumage à froid, augmente avec l'humidité relative de la fumée jusqu'à 70 %. Au-dessus, la conservation ultérieure du poisson fumé serait défectueuse. D'autre part, à une humidité inférieure, le séchage serait trop rapide et donc l'absorption de fumée trop faible.

Densité de la fumée

Plus la densité de la fumée est élevée, plus la quantité de fumée déposée est importante : en effet, les particules de fumée sont souvent suffisamment petites (tout au moins dans la fumée jeune) pour rester en suspension ; elles ne sont pas elles-mêmes déposées mais finalement elles se retrouvent sur le poisson soit via la phase gazeuse lors des rééquilibrages, soit directement après coalescence. La quantité de fumée retenue est donc en relation avec la densité optique (DO) de la fumée :

$$DO = \log (I_0/I_1)$$

Avec I_0 : intensité initiale d'un rayon lumineux qui, traversant la fumée sur une longueur L , ressort avec une intensité I_1 .

Durée d'exposition

L'absorption de la fumée, estimée par celle du phénol, est un processus du premier ordre ; sa vitesse décline avec le temps.

Température

En règle générale, la vitesse et l'importance de l'absorption de la fumée par les tissus du poisson augmentent avec la température. Ceci est dû au fait que les phénols à fort poids moléculaire requièrent des températures élevées pour rester dans la phase vapeur, état qui facilite leur absorption.

Toutefois, à des températures trop élevées, la quantité de substances absorbées diminue. En effet, à ces températures, la tension de vapeur d'eau augmente ainsi que la déshydratation en surface, d'où une capacité d'absorption des phénols légers solubles plus faible. Une élévation trop forte de la température risque donc d'assécher excessivement le poisson.

Le choix de la température pour le fumage à froid dépend de l'espèce utilisée et du type de produit fini envisagé. Cependant, il faut éviter que la température de la fumée entrant dans le fumoir au début du fumage soit inférieure à celle du poisson à fumer parce que l'humidité de la fumée se condenserait sous forme de gouttelettes d'eau qui se déposeraient à la surface du poisson. L'essentiel est que le poisson reste cru et donc que la température ne dépasse pas 30°C.

La circulation de l'air

Un tirage d'air est essentiel pour maximiser la distribution uniforme de la fumée sur le poisson.

Une vitesse élevée du flux air + fumée dans le fumoir entraîne une absorption et une pénétration des composés de la fumée plus importante. Cependant, la vitesse de 2 m/s au niveau des produits est un optimum ; au delà, les risques de croûtage sont importants.

2.2 La technique de DII

La DII (Déshydratation-Imprégnation par Immersion) est une alternative intéressante à la méthode traditionnelle de salage/séchage. Les procédés traditionnels présentent les inconvénients suivants : ils sont longs, difficiles à maîtriser, propices au développement bactérien et d'un rendement assez faible.

La DII repose sur le principe de l'élimination d'eau par effet de différence de concentration entre d'une part le produit et d'autre part une solution fortement concentrée en solutés (le plus souvent du sel et/ou du sucre). A la différence du saumurage et du confisage qui favorisent l'imprégnation du produit en soluté(s) et qui n'induisent qu'une faible déshydratation, la DII permet de déshydrater de façon conséquente le produit et de l'imprégner en soluté(s), et ce au cours d'une même opération d'immersion. D'abord appliqué aux végétaux, ce procédé est désormais appliqué à la viande (Favetto *et al.*, 1981 ; Collignan & Raoult-Wack, 1992 ; Deumier *et al.*, 1996) et au poisson (Collignan & Raoult-Wack, 1993 ; Collignan *et al.*, 1992).

Depuis plusieurs années, l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER) et le CIRAD-SAR collaborent de manière étroite sur l'amélioration du procédé de salage/séchage/fumage de produits carnés. Cette collaboration a donné lieu en juillet 1992 au dépôt d'un brevet conjoint (Collignan A., Knockaert C., Raoult-Wack A.L., Vallet J.L., 1992 : « Procédé et dispositif de salage-séchage et de fumage à froid de produits alimentaires carnés », brevet français n° 92/08958). Ce brevet est relatif à un nouveau procédé de salage/séchage/fumage alliant la DII pour le salage/séchage du produit à un fumage par voie électrostatique. Ces deux opérations permettent l'obtention de produits conformes aux standards actuels dans les délais les plus courts.

Au cours du traitement par DII, il se produit des transferts de matière, qui sont de trois types (Hawkes & Flinck, 1978) :

- une sortie d'eau du produit vers la solution concentrée
- une entrée de solutés (sel et, selon les cas : sucre) de la solution concentrée vers le produit
- une fuite de solutés propres au produit.

La *Figure 2* ci-dessous illustre les échanges qui ont lieu entre le produit à traiter et la solution concentrée.

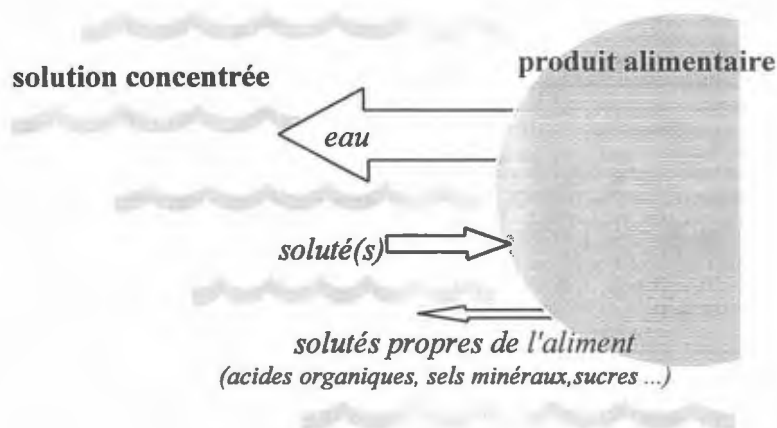


Figure 2: Transferts de matière entre la solution et le produit, lors d'un traitement par DII

Des travaux portant sur la déshydratation de filets de boeuf et de poisson par immersion dans des solutions mixtes (sel/sucre) à basse température ont permis d'étudier les cinétiques de la perte en eau, du gain en sucre et en sel, ainsi que des interactions sucre/sel. Les transferts ont lieu essentiellement au cours des premières heures de traitement. La présence de sucre à un niveau de concentration élevé permet d'augmenter les pertes en eau et de freiner (donc de contrôler) les entrées en sel. Ceci s'explique par la formation d'une couche superficielle concentrée en sucre qui aurait un effet barrière vis-à-vis des entrées en sel (Collignan & Raoult-Wack, 1992).

Une autre étude (Collignan & Raoult-Wack, 1993), appliquée à la morue, aboutit aux mêmes conclusions concernant l'effet des solutés. Cette étude propose en outre une comparaison concernant l'influence du poids moléculaire du sucre sur la perte en eau, le gain en sel et le gain en sucre. L'utilisation de sucre de haut poids moléculaire permet une bonne déshydratation et empêche les entrées en sucre dans le produit à traiter (il a été possible d'obtenir un gain en sucre de moins de 1g pour 100g de produit initial, teneur non détectable par les consommateurs).

L'ajout d'additifs dans la solution concentrée a permis de tester leurs effets positifs sur le plan physico-chimique, microbiologique et organoleptique (Deumier *et al.*, 1996).

Les avantages liés à l'utilisation du procédé de DII sont nombreux :

- grande simplicité de mise en oeuvre, économie d'équipement
- réduction de la durée de traitement grâce à l'action simultanée du salage et du séchage donc rendement amélioré
- meilleur contrôle des caractéristiques du produit fini (notamment les teneurs en eau, en sel et le degré de fumage)
- intérêt au niveau de l'hygiène puisque cette opération peut se dérouler à basse température ; de plus, cette technique permet une réduction des manipulations ce qui contribue à mieux préserver les qualités sanitaires des produits
- intérêt économique du fait des faibles investissements nécessaires à cette opération
- gain d'énergie par l'élimination de l'étape de séchage qui nécessite un apport d'énergie pour l'évaporation de l'eau lors du séchage classique

Il faut savoir cependant que pour assurer une bonne stabilité aux produits ayant subi un traitement par DII, il est souvent nécessaire d'effectuer un traitement complémentaire comme par exemple un séchage plus prononcé, un fumage ou l'ajout d'agents conservateurs. Suivant le type de solution utilisé et les temps de traitement appliqués, la DII peut permettre le salage-séchage (solution ternaire eau-sel-sucre) ou le marinage (solution ternaire eau-sel-acide acétique).

2.3 Le marinage

2.3.1 Généralités

Le marinage est un procédé traditionnel de conservation qui consiste à réduire l'activité de l'eau (A_w) du poisson par action du sel et à inhiber la croissance des micro-organismes par acidification du milieu. Le véritable terme de « marinade » s'applique uniquement aux poissons entiers ou en portions, frais, congelés, décongelés, salés (ou non) traités par l'action combinée du vinaigre, ou d'acide acétique dilué et du sel. Pour affiner la valeur gustative, ce traitement est ultérieurement complété par l'addition d'épices diverses et d'un liquide de « couverture » constitué de vinaigre et de sel (Sainclivier, 1985).

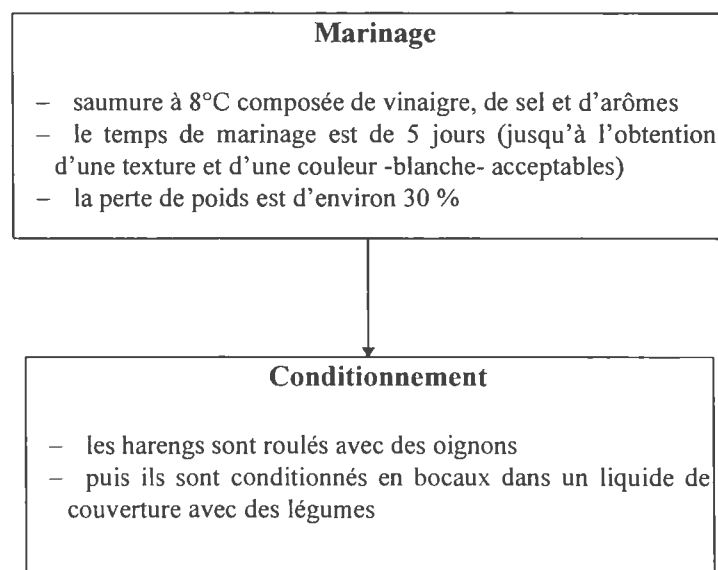
Il existe 3 types de marinades :

- les marinades proprement dites (ou à froid) qui ne subissent aucun traitement thermique
- les marinades cuites (ou à chaud) où le produit est cuit dans la marinade
- les marinades en gelée où le produit est enrobé après cuisson dans la marinade

2.3.2 Technique du marinage

Pour illustrer la technique de marinage, prenons l'exemple de la fabrication de rollmops, marinade la plus courante en France.

D'après Sainclivier (1985), le rollmops se définit comme un produit préparé à partir de harengs étêtés, éviscérés, désarêtés et équeutés, ayant subi un saumurage plus ou moins prolongé, présentés roulés dans une sauce vinaigrée et aromatisée. Facultativement, l'enroulement du poisson se fait autour d'un condiment et la sauce peut être additionnée de sucre.



2.3.3 Effets des solutés

Acide acétique et sel, pris séparément, ont une action antiseptique mais seulement à des teneurs difficilement compatibles avec un goût acceptable. D'où l'importance de l'effet de synergie entre ces deux agents de conservation, effet qui permet de réduire leurs doses nécessaires pour inhiber la croissance des micro-organismes.

L'acide fait baisser le pH, ce qui affecte la perméabilité membranaire, ralentit l'activité enzymatique et la croissance de certains micro-organismes (Bourgeois et al., 1989). L'ajout de sel réduit l' A_w des poissons, ce qui affecte le taux de croissance bactérien. En outre, l'addition de sel entraîne une plasmolyse plus ou moins importante des cellules. L'activité des enzymes est alors diminuée ou arrêtée (Bourgeois et al., 1989). L'effet inhibiteur du sel est d'autant plus important que la teneur en sel est élevée et le pH est bas.

2.3.4 Aspects chimiques du marinage à froid

Durant la semaine de marinage à 10/12°C, deux phénomènes prédominent :

- amollissement caractéristique des chairs de poissons essentiellement dû à une protéolyse résultant de l'activité des enzymes autolytiques tissulaires du poisson. Les aminoacides libérés participent au goût spécifique des marinades
- élimination de l'eau et coagulation des protéines des tissus en raison de la teneur en acide et en sel ; parallèlement, le sel inhibe partiellement le phénomène précédent et tend à le limiter

L'hydrolyse de la chair de poisson dans les marinades s'explique par l'action plus ou moins prédominante de processus bactériologique, chimique et enzymatique. En fin de marinage, la quantité d'aminoacides résultant de la protéolyse égale celle préexistante dans le poisson frais. Mais une partie des aminoacides migre dans le bain de marinage et est perdue ; cependant, durant le séjour en conditionnement final, un léger rééquilibrage s'effectue entre chair de poisson et liquide de couverture.

3- MATERIELS

3.1 Matières Premières

3.1.1 Saumon

Le produit utilisé pour les essais préliminaires est du saumon de calibre 4/5 (ceci afin d'économiser la matière première provenant d'Ouvéa), c'est à dire de 4-5 kg à l'état frais. Leurs filets pèsent en moyenne 1.3 kg pour une épaisseur moyenne de 2.5 cm environ. Ces saumons sont d'origine écossaise livrés à l'état frais puis conservés à l'état congelé (-18°C).

3.1.2 Espèces du lagon d'Ouvéa

Choix des espèces

La sélection des espèces a été effectuée à Ouvéa par un agent du CIRAD-SAR en collaboration avec le président du Syndicat des pêcheurs, en fonction des facilités d'approvisionnement et de la qualité intrinsèque des produits (facilité de filetage , faible quantité d'arêtes...).

Les trois espèces retenues sont :

- le Bec de Cane
- la Loche
- le Bossu

Le Bec de Cane et le Bossu sont deux espèces assez proches appartenant à la famille des Lutjanidés (source : Fourmanoir P., Laboute P., 1976). Le genre *Lethrinus* dont ils relèvent comprend au total 18 espèces réparties dans l'Océan Indien et l'Océan Pacifique, une seule d'entre elles vivant dans les eaux de l'Océan Atlantique. Ces poissons, de taille moyenne à grande, présentent de nombreuses similarités au niveau de leur forme, et des formules de leurs nageoires et écailles. La couleur permet à priori de différencier ces deux espèces : le Bec de Cane présente en effet des stries jaune, plus ou moins visibles, sur les parties latérales. On distingue en particulier le Bossu Rond (*L. variegatus*), le Bossu Gueule d'Acier (*L. xanthecheilus*), le Bossu Doré (*L. mahsena*), le Bec de Cane Malabar (*L. miniatus*),...

La Loche quant à elle appartient à la famille des Pomadasydés ; sa forme ressemble à celle d'une Perche.

La pêche et la préparation

Elle a été effectuée dans le lagon d'Ouvéa en 3 soirées à une semaine d'intervalle au mois d'octobre 1996. En tout, 183 kg de poissons ont été pêchés. Ils ont été entreposés dans des récipients contenant de la glace avant d'être étêtés et éviscérés à terre, en plein air.

Le conditionnement et l'envoi

Les poissons ont effectué le trajet Ouvéa-Nouméa par le 1^{er} avion du matin dans de la glace. Ils ont été congelés en chambre froide à -25°C le midi à Nouméa. Puis, ils ont effectué le trajet Nouméa-Montpellier dans des glacières de 100 l. Les poissons ont été réceptionnés à Montpellier le 25 octobre. Tous les poissons étaient congelés à coeur. Le contenu d'une des glacières («divers : 30.750 kg») avait légèrement décongelé en surface mais restait de qualité acceptable.

Les poissons furent aussitôt stockés dans la chambre froide du CIRAD-SAR à -18°C.

Evaluation des caractéristiques de la matière première

Les caractéristiques des poissons de lagon sont regroupées dans le *Tableau 1* ci-dessous :

Masse moy. des poissons entiers (g)		Longueur moy. des poissons entiers (cm)		Masse moy. des filets (g)	T _{eau} initiale moy. (%)	T _{sel} initiale moy. (%)	T _{matière grasse} initiale moy. (% de la mat. fraîche)
Bossu et Loche	Bec de Cane	Bossu et Loche	Bec de Cane				
700 / 900	1000 / 1200	30	40	175 / 350	80	0.1	0.25

Tableau 1 : Caractéristiques des poissons de lagon

3.2 La ligne pilote : principe de fonctionnement

3.2.1 Conditions de traitement en DII

Choix des solutés

Les solutions utilisées pour le salage-séchage sont des solutions ternaires composées d'eau, de sel et de sucre, et ce dans des proportions variables. Le sel utilisé est du sel de mer ; le sucre est une maltodextrine « DE21 » (Dextrose Equivalent), dont le prix de revient est plus faible que celui du saccharose. La concentration de ces solutés est exprimée en g/l d'eau.

Les solutions utilisées pour le marinage contiennent du sel (70 g/l d'eau) et de l'acide acétique à 80 % (37.5 g/l d'eau). Le pH résultant est d'environ 2.6.

Température de travail

La température de traitement (10°C) est fixée par la valeur-consigne du cryostat : cette température correspond à la température qui règne en général dans les salles de travail des industries alimentaires traitant les produits de la mer.

Conditionnement des produits

Les produits finis (salés/séchés/fumés) sont conditionnés sous vide à l'aide de l'ensacheuse Multivac ; les produits marinés, après la phase d'égouttage, sont conditionnés sous azote à l'aide de la même machine (cf. IV.2.3.1. Objectifs). Ils peuvent ensuite être stockés à 4°C durant plusieurs semaines.

Le pilote de DII

Le pilote de DII utilisé pour nos essais permet un traitement en batch. Les produits sont disposés à plat sur des claies grillagées et empilées. L'ensemble claies-produits est immergé dans un bac contenant la solution (soit la solution concentrée en sel et en sucre dans le cas du salage/séchage, soit la solution de marinage). Le vérin à air comprimé, relié au panier porteur des claies, oscille de la position haute (pas d'immersion) à la position basse (immersion) suivant un cycle déterminé. L'agitation relative produit/solution ainsi créée permet d'avoir une concentration de la solution homogène au voisinage des produits. Un cryostat permet le maintien d'une température constante grâce à la double enveloppe entourant le bac d'immersion. Ce dispositif présente l'avantage d'être simple, facile à mettre en oeuvre, multiproduit et peu consommateur d'énergie.

Le schéma ci-contre représente le pilote et ses principaux éléments.

Le pilote de DID

3.2.2 Le fumage

Le fumoir se compose d'un générateur de fumée relié à une enceinte de fumage, comme le montre le schéma page suivante.

Le générateur de fumée, «à autocombustion», est un type de générateur très utilisé pour le fumage des produits de la mer car sa consommation d'électricité est faible et sa production de fumée régulière. C'est un générateur de fumée compact à sciure de marque THIRODE (modèle FCS 90 à sciure). Il comporte une trémie réserve de sciure ainsi qu'une chambre de combustion dans laquelle est produite la fumée. Un système mécanique répartit la sciure régulièrement sur une plaque circulaire comportant une résistance pour l'allumage. La temporisation de raclage de ce système est modulable ; de même, on peut régler la densité de la fumée en contrôlant la puissance de chauffe de la résistance. Un clapet à ouverture variable assure le tirage nécessaire à une bonne combustion.

Un tube contenant une vis sans fin et refroidi par un cryostat relie le générateur de fumée à l'enceinte de fumage.

Conditions de traitement

D'après la littérature sur le fumage des produits de la mer, il est nécessaire de contrôler la température et l'hygrométrie de la fumée dans l'enceinte de fumage (cf. II.1.3.4 Paramètres influençant le dépôt de la fumée).

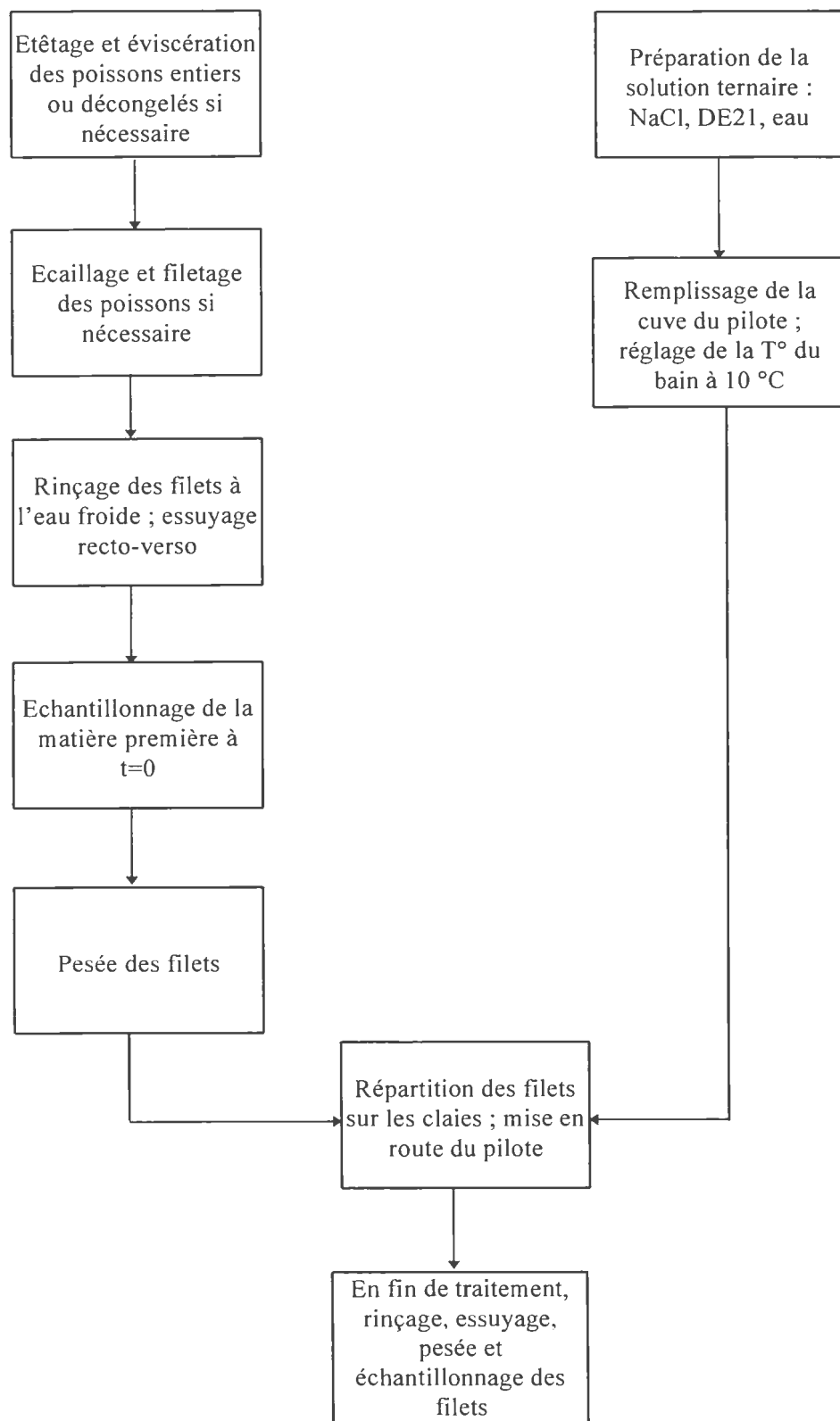
L'hygrométrie de la fumée est conditionnée par la teneur en eau initiale du bois ; dans notre cas, nous utilisons de la sciure de hêtre. Si les copeaux sont trop secs, ils risquent de s'enflammer, d'où la nécessité d'humidifier la sciure entre 16 et 20 % (Talon et Girard, 1980). L'hygrométrie de la fumée ne doit pas être trop élevée non plus, sinon sa teneur en phénols sera faible et elle sera riche en acides.

Dans le but de baisser la température et l'hygrométrie de la fumée avant son entrée dans l'enceinte, deux systèmes complémentaires ont été imaginés : d'une part on la fait passer dans une vis sans fin, ce qui augmente considérablement sa durée de parcours jusqu'à l'enceinte ; d'autre part, cette vis est insérée dans un tube, qui lui-même est thermostaté à basse température. Grâce à ce système, les particules goudroneuses se condensent à l'intérieur du tube (elles sont évacuées par l'intermédiaire d'une vanne de purge) et l'hygrométrie baisse. Cependant il est à noter que dans le cadre de nos essais, on différencie totalement la phase de séchage de celle de fumage : on peut donc travailler à une hygrométrie supérieure à celle recommandée.

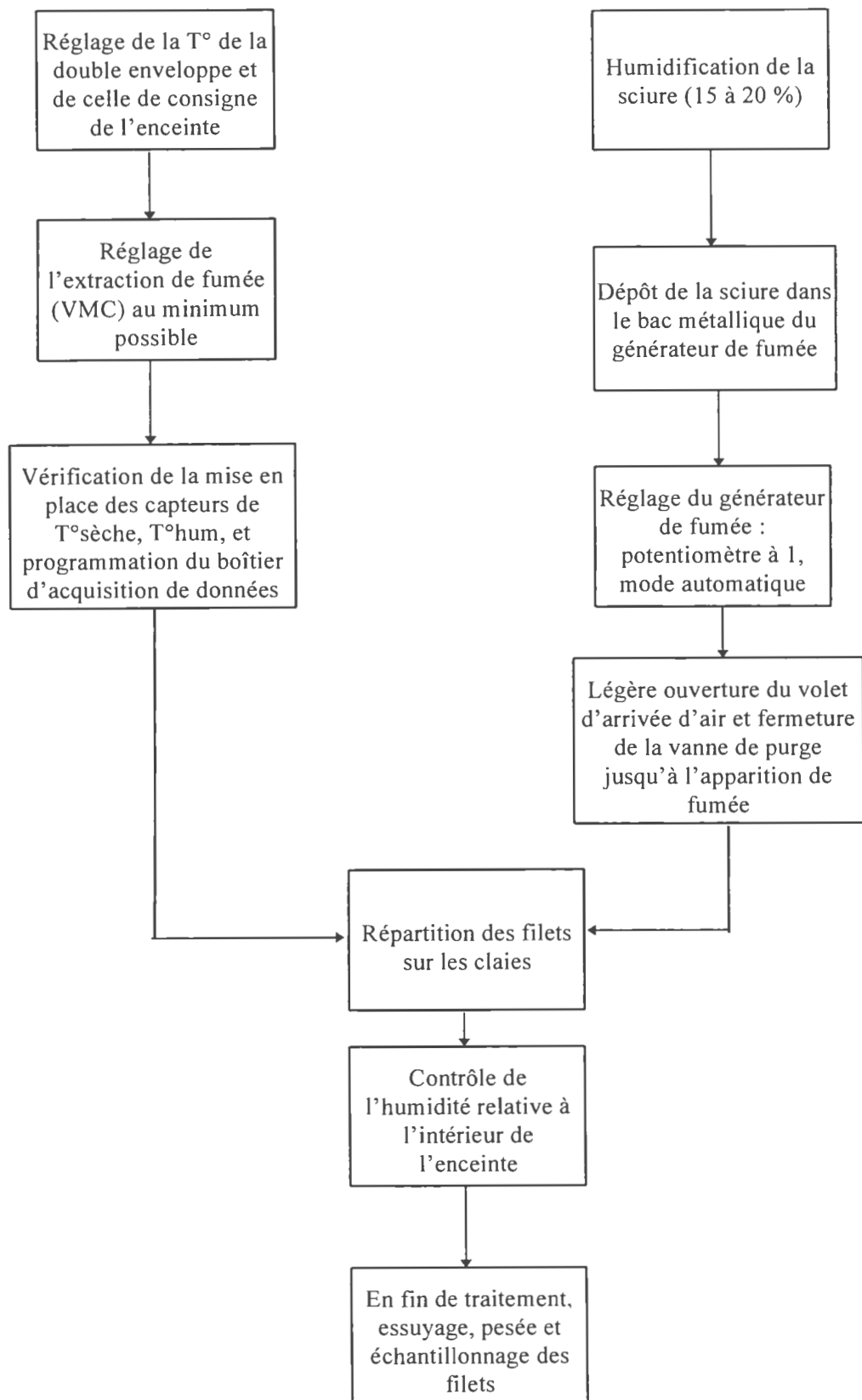
La température de fumage dans l'enceinte est constante : à son entrée, la fumée présente une température inférieure à 15°C (elle dépend de la température de consigne fixée sur le cryostat), mais des résistances électriques pilotées par un régulateur PID permettent de la maintenir à 19°C.

4- Méthodes

4.1 Le traitement par DII: Protocole opératoire



4.2 Le fumage: Protocole opératoire



4.3 Techniques d'analyses

4.3.1 Prise en compte de l'erreur expérimentale

La réalisation des analyses peut constituer une source non négligeable d'erreurs (lors de la pesée des échantillons, lors de la prise des volumes...). Ces erreurs viennent s'ajouter à celles qui surviennent au cours des essais (variations des facteurs non contrôlés comme par exemple la variabilité de la matière première), et l'ensemble forme l'erreur expérimentale. Dans le but de minimiser cette erreur expérimentale, il faut en premier lieu s'attacher à réaliser un échantillonnage représentatif en prélevant une quantité suffisante d'échantillon qui sera homogénéisée par le biais d'un broyage. C'est à partir de ce broyat qu'on pourra réaliser les analyses décrites ci-dessous. De plus, la réalisation des analyses se fera dans la mesure du possible en triple exemplaire, afin de garantir des conditions de répétabilité : à partir de ces trois valeurs en effet, il sera possible de calculer une moyenne, un écart-type et éventuellement d'écarter une mesure qui semblerait totalement erronée.

4.3.2 Mesure de la teneur en eau et de la perte en eau

Elle est mesurée par différence de pesée entre la matière fraîche et la matière sèche (AFNOR, 1908, NF V04-401). Pour cela, un échantillon d'une dizaine de grammes est placé dans une coupelle en aluminium préalablement pesée. L'échantillon est ensuite placé à l'étuve à 104 °C pendant 24 heures. A la sortie, il est mis pendant 10 minutes dans un dessiccateur afin d'éviter une reprise d'humidité pendant le refroidissement. Puis la coupelle est à nouveau pesée. On en déduit la teneur en eau du prélèvement:

$$T_{\text{eau}} = \frac{((MC + MH) - (MC + MS))}{((MC + MH) - MC)}$$

avec :

- T_{eau} : teneur en eau du produit (g/100g de produit)
- $MC + MH$: masse de la coupelle plus matière humide (g)
- $MC + MS$: masse de la coupelle plus matière sèche (g)
- MC : masse de la coupelle à vide (après 24 heures à l'étuve)

La perte en eau, exprimée en grammes pour 100 grammes de produit initial, est calculée de la façon suivante :

$$PE = T_{\text{eau initiale}} - T_{\text{eau finale}} \cdot M_{\text{finale}} / M_{\text{initiale}}$$

avec :

- PE : la perte en eau (g/100 g de produit initial)
- $T_{\text{eau initiale}}$: teneur en eau initiale (g/100 g de produit initial)
- $T_{\text{eau finale}}$: teneur en eau finale (g/100 g de produit final)
- M_{initiale} : masse initiale du filet (g)

- M finale : masse finale du filet (g)

4.3.3 Mesure de la teneur en sel et du gain en sel

On réalise un prélèvement de l'échantillon initialement broyé de 2 à 3 g. Cette quantité est définie d'après les résultats attendus, afin de se situer dans la zone de réponse linéaire de l'appareil. Le broyat mis en solution dans 50 ml d'acide nitrique à 0.3 N est placé en agitation pendant 2 heures. Il est ensuite laissé au repos durant une nuit afin de permettre la décantation des particules en suspension. Le chlorimètre (de type CORNING chloride analyzer) mesure la différence de potentiel entre une électrode de référence et une électrode d'argent. Le complexe des ions Ag^+ avec les ions Cl^- crée une différence de potentiel proportionnelle à la quantité d'ions Cl^- en solution. On peut alors déduire la teneur en sel de l'échantillon :

$$T_{\text{sel}} = \frac{(1.648.10^{-4} \cdot X \cdot V)}{m}$$

avec :

- T_{sel} : teneur en sel de l'échantillon (g/100 g de produit traité)
- X : réponse du chlorimètre
- V : volume de la solution d'acide nitrique à 0,3 N (50 ml)
- m : masse d'échantillon prélevée (g)

Le gain en sel est calculé de la façon suivante et exprimé en grammes pour 100 grammes de produit initial.

$$G_{\text{sel}} = M_{\text{finale}} / M_{\text{initiale}} \cdot T_{\text{sel finale}} - T_{\text{sel initiale}}$$

avec :

- G_{sel} : gain en sel (g/100 g de produit initial)
- $T_{\text{sel initiale}}$: teneur en sel initial (g/100g de produit initial)
- $T_{\text{sel finale}}$: teneur en sel finale (g/100g de produit final)
- M_{initiale} : masse initiale du filet (g)
- M_{finale} : masse finale du filet (g)

4.3.4 Dosage des phénols

L'intensité du fumage est appréciée par la mesure de la teneur en phénols totaux. En effet, Bratzler et al. (1969) ont déterminé une corrélation entre la teneur en phénol et le test d'évaluation du goût et de la couleur, avec un coefficient de corrélation de 0.81.

La teneur en phénol est l'indicateur couramment utilisé pour évaluer la quantité de fumée déposée sur le produit et l'ayant pénétré, mais il faut être conscient du fait qu'il n'est pas parfaitement représentatif du degré de fumage.

Principe

- Extraction de phénols par une solution alcoolique.
- Passage en milieu alcalin et développement, en présence de ferricyanure de potassium, d'une coloration avec l' amino-4-antipyrine.
- Mesure spectrophotométrique après extraction chloroformique du composé coloré formé.

Mode opératoire

Préparation de l'échantillon

Un échantillon représentatif (200 g au minimum pour du saumon) est broyé et stocké dans un flacon étanche dans l'attente de son analyse effectuée le jour même.

Prise d'essai et extraction

Dans un tube à centrifuger de 200 ml, on pèse 5 +/- 0.01 g d'échantillon, on ajoute 25 ml d'éthanol à 95°. Le tout est homogénéisé à l'aide d'un turbotest. On récupère à l'aide d'une spatule les morceaux de saumon coincés sur le broyeur et on rince la tige avec 10 ml d'éthanol que l'on verse dans le tube.

Une centrifugation de 10 minutes à 4000 tours/minute est effectuée. Le surnageant est recueilli dans une fiole jaugée de 50 ml. Le culot est remis en suspension dans 10 ml d'alcool et homogénéisé à l'aide d'une spatule. Une centrifugation identique est réalisée et l'extrait alcoolique recueilli dans la fiole que l'on complète à 50 ml avec l'éthanol.

Dosage et gamme étalon

On met dans une ampoule à décanter de 100 ml en respectant l'ordre :

	ESSAI (en ml)	GAMME D'ETALONNAGE (en ml)				
		-	-	-	-	-
Extrait alcoolique	5	-	-	-	-	-
Solution étalon de phénol à 5 mg/l	-	0	1	2	4	6
Eau	30	35	34	33	31	29
Amino antipyrine à 2 %	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Ammoniaque 2N	2	2	2	2	2	2
Ferricyanure de potassium à 2 %	2	2	2	2	2	2
Chloroforme	10	10	10	10	10	10
Quantité de phénol contenue dans chaque ampoule à décanter	C	0	5 µg	10 µg	20 µg	30 µg

L'ampoule est agitée énergiquement puis laissée à décanter pendant 10 minutes pour la gamme étalon et pendant 30 minutes pour les essais. La phase chloroformique, plus dense, est reprise à l'aide d'un entonnoir garni d'un filtre de papier rempli de 6 g environ de sulfate de sodium anhydre.

La lecture de la densité optique du filtrat obtenu, est réalisée à 455 nm, dans une cuve en quartz bouchée d'un centimètre de trajet optique. Le zéro est fait sur le zéro de la gamme étalon.

Deux déterminations sont effectuées sur le même échantillon préparé.

Expression des résultats

La droite d'étalonnage est établie à partir de l'équation suivante :

$$C = k \cdot \text{ABS} + B$$

ce qui permet d'en déduire C la quantité de phénol contenue dans l'ampoule à décanter, en µg.

La quantité de phénols P exprimée en mg pour 100 g d'échantillon est égale à :

$$P = C \cdot 10^{-3} \cdot (50/5) \cdot (100/5) = 0.2 \cdot C$$

avec C : quantité de phénol en µg obtenue à partir de la gamme étalon

La moyenne arithmétique des 2 déterminations est prise comme résultat si les conditions de répétabilité sont remplies ; c'est à dire si les résultats des essais faits en double par le même opérateur ne diffèrent pas de plus de 5 % de la moyenne des 2 résultats.

4.3.5 Bilan matière

Le bilan matière est un bon moyen d'évaluer rapidement la cohérence des résultats obtenus à l'issue d'un essai de salage/séchage. Pour réaliser ce bilan, il est nécessaire de connaître la perte en poids subie par les produits traités. Cette dernière se calcule ainsi :

$$P_{\text{poids}} (\%) = (M_{\text{initiale}} - M_{\text{finale}}) \cdot 100 / M_{\text{initiale}}$$

Le bilan matière s'exprime par la formule suivante :

$$P_{\text{poids}} = PE - G_{\text{sel}} - G_{\text{suc}} + P_{\text{solutés propres}}$$

avec :

- P_{poids} : perte en poids (%)
- PE : perte en eau (%)
- G_{sel} : gain en sel (%)
- G_{suc} : gain en sucre (%)
- $P_{\text{solutés propres}}$: perte en solutés propres au produit (%), par exemple : protéines

La perte en solutés propres du produits est considérée comme négligeable ; de même, on va négliger le gain en sucre qui doit être minime par rapport à la masse de produit initiale. On aboutit alors à l'inéquation suivante :

$$P_{\text{poids}} < PE - G_{\text{sel}}$$

Si cette inéquation se vérifie, cela confirme une certaine logique dans l'ordre de grandeur des valeurs.

4.3.6 Mesure du pH des produits marinés

5 g d'échantillon sont pesés dans un becher. On y ajoute 50 ml d'eau distillée et on agite pendant 2 minutes exactement. Puis on lit le pH grâce à un pH-mètre Bioblock Scientific à affichage digital (Ohashi et al., 1991).

4.3.7 Dégustation des produits

Nous n'effectuerons pas d'analyse sensorielle en tant que telle sur les produits ; cependant, les produits finis du lagon d'Ouvéa seront dégustés en petit comité (avec parfois un Canaque et une personne ayant résidé longtemps en N^{elle} Calédonie, donc connaissant bien les goûts locaux) afin d'en ajuster le goût et la texture.

5- Résultats et discussion

5.1 Essais préliminaires de DII/fumage sur le saumon

5.1.1 Objectifs

Ces essais préliminaires ont pour but de se familiariser avec les techniques que nous appliquerons par la suite aux poissons de lagon : la DII et le fumage « traditionnel ». Nos objectifs concernant les caractéristiques finales des produits se basent sur celles du saumon fumé « standard » que l'on trouve sur le marché français :

$$\begin{aligned} 2.5 \% < T_{\text{sel}} < 3.0 \% \\ 61 \% < T_{\text{eau}} < 62 \% \\ 1 \text{ mg/100 g} < T_{\text{phénol}} < 1.2 \text{ mg/100 g} \end{aligned}$$

5.1.2 Résultats

Essai n°1

Essai du 07/10/97 sur 3 filets de saumon

Durée de la DII : 3 h

Composition de la solution : [NaCl] = 350 g/l
[DE21] = 350 g/l

Durée du fumage : 2h30

T° cryostat : -10°C

T° fumée^(*) : 3.5°C

Hum. rel. : 88 %

Analyses après DII

Filet n°	masse initiale (g) ^(**)	P _{poids} (%)	T _{sel} initiale (%)	T _{sel} finale (%)	G _{sel} (%)	T _{eau} initiale (%)	T _{eau} finale (%)	P _{eau} (%)
1	948.1	3.4	0.1	2.5	2.4	63.9	59.3	6.7
2	864.6	3.4	0.1	3.0	2.8	65.2	58.8	8.4
3	936.2	3.7	0.1	2.5	2.4	66.7	60.4	8.5
moyenne	916.3	3.5	0.1	2.7	2.5	65.3	59.5	7.9

Tableau 2 : Résultats des analyses après DII de l'essai 1

Analyses après fumage

Filet n°	P _{poids} (%) ^(***)	T _{eau} finale (%)	T _{phénols} finale (%)
1	4.3	56.8	0.5
2	4.3	58.3	0.7
3	4.6	58.7	0.5
moyenne	4.4	57.9	0.6

Tableau 3 : Résultats des analyses après fumage de l'essai 1

(*) : Température de la fumée entrant dans l'enceinte, c'est-à-dire après refroidissement.

(**) : Cette information est donnée à titre indicatif, le calibre pouvant expliquer certains phénomènes.

(***) : Elle est mesurée à l'aide de la masse initiale (avant DII) et de la masse finale (après fumage).

Interprétation des résultats

- ⇒ Si on réalise le bilan matière sur les moyennes de ces valeurs, on obtient : 3.5 % ($P_{\text{poids moy}}$) < 5.4 % ($P_{\text{eau moy}} - G_{\text{sel moy}}$)
La différence s'explique par le gain en sucre, qui semble assez significatif ici.
- ⇒ Le produit a vu sa teneur en eau baisser entre la DII et le fumage. Malgré une hygrométrie de 88 % dans l'enceinte de fumage, le poisson ne s'est donc pas ré-humidifié et il a même continué à sécher. Cela explique aussi la perte en poids plus importante après fumage qu'après DII.
- ⇒ Lors de la dégustation du filet 2, nous avons constaté que la teneur en sel, la teneur en eau et la texture étaient acceptables. Cependant, le degré de fumage paraît insuffisant. Les résultats des analyses concordent donc avec les impressions liées à la dégustation. En outre, le fumoir présente quelques problèmes techniques : d'une part, la génération de fumée se faisait en continu à cause du blocage du capteur de fin de course sur le générateur de fumée, et d'autre part l'extraction de fumée était trop importante (extracteur encrassé par les dépôts de fumée). Après avoir résolu ces problèmes, les conditions de l'essai n°2 sont fixées : elles sont identiques à l'essai précédent au niveau du salage/séchage, mais cette fois nous réaliserons 3 degrés de fumage pour essayer d'approcher la valeur désirée.

Essai n°2

Essai du 15/10/97 sur 3 filets de saumon

Durée de la DII : 3 h

Composition de la solution : [NaCl] = 350 g/l
[DE21] = 350 g/l

Filet 2 : 2h30

Filet 3 : 3h

T° cryostat : 7°C, puis 0, puis -5

T° fumée : 13.9°C, puis 9.7, puis 7.3

Hum. rel. > 100 %

Durée du fumage : Filet 1 : 2h

Analyses après DII

Filet n°	masse initiale (g)	P_{poids} (%)	T_{sel} initiale (%)	T_{sel} finale (%)	G_{sel} (%)	T_{eau} initiale (%)	T_{eau} finale (%)	P_{eau} (%)
1	837.8	4.6	0.1	2.7	2.5	62.7	57.7	7.7
2	1030.1	4.6	0.1	2.8	2.6	65.8	59.8	8.8
3	1025.0	4.1	0.1	2.3	2.1	62.9	57.7	7.6
moyenne	964.3	4.5	0.1	2.6	2.4	63.8	58.4	8.0

Tableau 4 : Résultats des analyses après DII de l'essai 2

Analyses après fumage

Filet n°	P _{poids} (%)	T _{eau} finale (%)	T _{phénols} finale (%)
1	5.2	60.2	0.7
2	5.1	59.9	1.1
3	4.5	59.0	1.2

Tableau 5 : Résultats des analyses après fumage de l'essai 2

Interprétation des résultats

- ⇒ Le bilan matière est le suivant : 4.5 % (P_{poids} moy) < 5.6 % (P_{eau} moy - G_{sel} moy)
La remarque précédente s'applique également ici.
- ⇒ La génération de fumée était très bonne, mais l'humidité relative dans le fumoir était trop importante, en raison d'un refroidissement de la fumée insuffisant (pour tenter d'y remédier, on a abaissé la T° de consigne du cryostat au cours du fumage) : la teneur en eau du produit a augmenté légèrement, mais elle reste correcte pour assurer la conservation.
- ⇒ Les conclusions, à l'issue de la dégustation des 3 filets, confirment les valeurs obtenues par les analyses : le salage et la texture des filets sont corrects ; le fumage, léger pour le filet 1, devient de plus en plus prononcé pour les filets 2 et 3, mais il reste tout à fait acceptable.

Conclusions

A l'issue de ces deux essais, nous avons pu optimiser le traitement du saumon (cal.4/5, épaisseur 2.5 cm environ) avec le pilote de DII et le fumoir traditionnel ; les conditions de traitement suivantes sont donc préconisées :

Durée de la DII :	3 h
Composition de la solution :	[NaCl] = 350 g/l [DE21] = 350 g/l
Durée du fumage :	2h30 à 3h

5.2 Essais de DII/fumage sur les poissons d'Ouvéa

5.2.1 Objectifs

Le but de ces essais consiste à définir des conditions satisfaisantes de salage/séchage/fumage sur ces poissons afin de préparer une série de filets transformés qui seront présentés en Nouvelle-Calédonie. Pour mener à bien notre étude, nous allons procéder par une succession d'essais destinés à encadrer et à atteindre dans la mesure du possible les valeurs désirées ; la méthode du plan d'expérience n'a pas été appliquée en raison du délai

trop court et du nombre trop important de paramètres entrant en jeu (3 espèces de poisson, calibre des filets assez aléatoire, variabilité intrinsèque au produit...).

Les objectifs que nous nous sommes fixés en terme de degré de salage et de degré de fumage sont analogues à ceux pour le saumon fumé. Cependant, il y a une différence au niveau de la déshydratation. En effet, les poissons de lagon sont très maigres. Etant donnée la relation qui lie la teneur en matière grasse et la teneur en eau :

$$T_{\text{mat.grasse}} (\%) + T_{\text{eau}} (\%) = 80 \% \text{ environ,}$$

la teneur en eau initiale de ces poissons sera beaucoup plus élevée que celle du saumon. Les analyses le confirment en effet (cf. III.1.1.2.4. Evaluation des caractéristiques de la matière première). Par conséquent, il ne nous sera pas possible d'obtenir une teneur en eau finale autour de 60 %, si on veut que le salage ne soit pas excessif. Nous nous fixerons donc les objectifs suivants :

$\begin{aligned} 2.7 \% < T_{\text{sel}} < 3.0 \% \\ 70 \% < T_{\text{eau}} < 75 \% \\ 1 \text{ mg/100 g} < T_{\text{phénol}} < 1.3 \text{ mg/100 g} \end{aligned}$

5.2.2 Résultats

Remarques préliminaires

⇨ Pour tous les essais réalisés sur le salage/séchage /fumage des poissons de lagon, la T° du cryostat est fixée à 7°C et la fumée entre dans l'enceinte à une température de 13°C environ pour y être réchauffée et maintenue à 19°C. L'humidité relative dans l'enceinte de fumage est supérieure à 97 %. Cette hygrométrie élevée a pour conséquence d'augmenter la teneur en eau des produits, entre le début et la fin du fumage : jusqu'à 2 % d'après nos mesures. Afin d'éviter ces problèmes de condensation, 3 moyens d'action sont envisageables : baisser la température du cryostat, améliorer les performances de l'échangeur, ou bien augmenter la T° de fumage -sans qu'elle dépasse 30°C.

Cette dernière solution nous paraît intéressante puisqu'elle nécessite un apport d'énergie moindre.

Cette remarque est à prendre en considération pour des expériences ultérieures.

⇨ Le *Tableau 6* ci-après regroupe l'ensemble des essais effectués et les caractéristiques finales (après fumage) des produits obtenus :

Essai n°	Espèce	Masse initiale moy (g)	Durée de DII [NaCl], [DE21]	Durée du fumage	T _{eau} finale (%)	P _{eau} (%)	T _{sel} finale (%)	G _{sel} (%)	T _{phénol} finale (mg/100g)	Observations suite à la dégustation
3.1 du 22/10	Bossu	230	30 min 350, 500	1h	75.5	4.5	3.9	3.8	0.7	Peu salé par rapport aux chiffres annoncés ; accentuer le fumage
3.2 du 22/10	Bossu	250	30 min 350, 500	1h30	75.5	6.0	4.7	4.5	1.0	Peu salé par rapport aux chiffres annoncés ; accentuer le fumage
4.1 du 28/10	Bossu	160	30 min 350, 1000	1h30	73.9	9.3	3.4	3.1	0.6	Très salé ; peu fumé ; produit assez déshydraté
4.2 du 28/10	Bossu	190	30 min 350, 1000	1h30	74	6.6	2.6	2.5	0.7	Moins salé ; pas assez déshydraté
4.3 du 28/10	Bossu	140	30 min 350, 1000	2h	74.4	4.7	3.3	3.2	1.2	Trop fumé, trop salé
4.4 du 28/10	Bossu	150	30 min 350, 1000	2h	76.2	3.7	2.7	2.6	1.1	Peu salé ; fumage et texture : acceptables
5.1 du 05/11	Bossu	200	30 min 350, 1000	1h45	69.8	10.4	3.6	3.5		Légèrement trop salé ; assez typé en fumage
5.2 du 05/11	Bossu	210	30 min 350, 1000	1h45	71.9	5.1	3.3	3.3		
5.3 du 05/11	Bec de Cane	260	45 min 350, 1000	2h15	71.0	13.4	3.9	3.6		
5.4 du 05/11	Bec de Cane	290	45 min 350, 1000	2h15	70.6	11.9	3.8	3.6		Texture plutôt fibreuse ; très salé, très fumé
5.5 du 05/11	Loche	320	45 min 350, 1000	2h15	72.7	10.2	2.9	2.7		Plus doux, moins salé, texture différente de celle des 2 autres espèces ; plus équilibré.
5.6 du 05/11	Loche	290	45 min 350, 1000	2h15	72.6	7.8	2.9	2.8		Plus doux, moins salé, texture différente de celle des 2 autres espèces ; plus équilibré.
7.1 du 13/11	Loche	280	22 min 350, 1000	1h45	77.3	5.0	1.8	1.6		Peu typé (peu salé, peu fumé) ; problème de texture : assez fondante, mais présence de fibres
7.2 du 13/11	Bec de Cane	280	22 min 350, 1000	2h	74.8	5.9	1.7	1.6	2.6	Plus fumé, mais moins salé ; texture satisfaisante ; bien équilibré, bien apprécié
10.1 du 19/11	Bossu	130	20 min 350, 1000	2h	74.5	9.5	2.7	2.4	3.0	Plutôt fumé ; fin et homogène en bouche
10.2 du 19/11	Bec de Cane	200	25 min 350, 1000	2h	73.9	8.6	2.9	2.7	1.6	Apprécie
11.1 du 20/11	Loche	220	30 min, 350, 1000	2h	75.3	5.8	2.4	2.3	2.2	Degré de salage et de fumage : satisfaisants

Tableau 6 : Récapitulation des essais de DII/fumage sur les poissons de lagon

Interprétation des résultats

- ⇒ A l'issue des essais 3.1 et 3.2, nous avons remarqué que la teneur en sel était trop élevée, de même que la teneur en eau.

Nous avons alors décidé, pour la suite de nos essais, d'augmenter la concentration en DE21 afin de « pousser » la déshydratation tout en limitant le gain en sel. On peut alors mesurer l'effet de l'augmentation de la concentration en sucre en comparant les essais 3.1 ([DE21] = 500 g/l) et 5.2 ([DE21] = 1000 g/l), essais pour lesquels les conditions de traitement sont sensiblement identiques (espèce et calibre, durée de DII). On obtient les résultats escomptés, même si le produit reste encore très salé.

- ⇒ Les séries d'essais 4.1 à 5.2 portant toujours sur le Bossu illustrent l'effet « calibre ». En effet ces essais, pris 2 à 2, ont été réalisés dans des conditions de DII/fumage analogues pour un calibre quasi-identique : on peut ainsi constater, pour les essais 4.1 et 4.2, 4.3 et 4.4, 5.1 et 5.2, que c'est le plus petit de ces filets (en terme de masse) qui aura la perte en eau et le gain en sel les plus importants. Sachant que la longueur et la largeur du filet traité sont importantes devant l'épaisseur, et à partir de la loi de Fick qui régit les transferts de matière, on démontre que le temps de traitement est directement proportionnel à l'épaisseur du produit (Zakhia N., 1992).

Il semble donc important d'adapter le temps de traitement au calibre du filet, et c'est ce que nous essayons de faire dans les essais suivants.

- ⇒ On remarque que, même en prenant en considération l'effet « espèce » et l'effet « calibre » dans les conditions de traitement appliquées, les résultats obtenus ne sont pas toujours ceux escomptés. Cela est imputable à la variabilité intrinsèque du produit : en effet, deux Becs de Cane ne sont jamais totalement similaires, même si le calibre semble identique. Ils peuvent ne pas réagir de la même façon face à un même traitement. Cet effet « variabilité intrinsèque » fait partie des facteurs non contrôlables et, à notre niveau, non décelables. Par exemple, dans le cas des essais 4.3 et 10.1, pour un calibre quasi-identique on s'attend à un produit beaucoup plus transformé pour 4.3 dans la mesure où la DII dure 10 minutes de plus. Or ce n'est pas le cas pour la perte en eau. Le degré de fumage, pour une même durée de traitement, est également surprenant dans ces deux essais.

Le mode de filetage peut également avoir son importance : on a remarqué en effet que les deux filets issus d'un même poisson ne sont pas toujours identiques.

Les exemple de ce type sont assez nombreux, ce qui rend la prévision et la modélisation très délicates (car hasardeuses) sur ce type de produit.

- ⇒ Les expérimentations, commencées sur le Bossu (espèce la plus homogène et la mieux représentée du stock), se sont ensuite étendues à l'étude des autres espèces. Après avoir dégusté les produits finis, nous nous sommes aperçus que le Bec de Cane et le Bossu présentaient de très fortes similarités au niveau des résultats obtenus et plus précisément de l'aspect organoleptique (texture et goût) ; cette constatation n'est pas très surprenante dans la mesure où ces deux espèces sont très proches.

Ces deux poissons nous semblent donc particulièrement bien adaptés au salage/séchage/fumage.

Par contre la Loche, de par sa texture hétérogène (contraste entre l'aspect fondant et la présence de fibres), ne présente pas la finesse des deux autres espèces.

5.3 Marinage

5.3.1 Objectifs

La réalisation de produits marinés n'était pas prévue dans le cadre du projet Cordet ; cependant, il nous a paru intéressant de faire quelques essais, dans la mesure où la mise en oeuvre de ce procédé avec un pilote de DII est relativement simple, et où ce produit pourrait ouvrir de nouvelles perspectives pour la mise en valeur de ces espèces.

Remarque

Les produits marinés présentent l'inconvénient de former un exsudat important au cours du stockage (d'autant plus important que l'on travaille sur de la matière première congelée). Pour tenter de minimiser cet exsudat, nous pouvons agir à différents niveaux (Poligné I., 1997):

- au niveau de la durée de traitement
- en insérant une étape intermédiaire d'égouttage
- au niveau du conditionnement

La perte en eau peut être favorisée au cours du marinage en allongeant la durée de traitement : le pH va diminuer avec le temps et par là même faire baisser la capacité de rétention d'eau du produit.

Avant de conditionner le produit, il est intéressant de laisser le produit égoutter sur une grille, à 4°C, pour une durée d'1h30 environ : cela permet de limiter significativement la quantité d'exsudat dans l'emballage.

Le conditionnement sous vide n'est pas approprié car les produits, soumis à une contrainte mécanique, sont écrasés et perdent facilement leur eau libre. On choisira donc de les conditionner sous azote (et non sous air pour des raisons d'oxydation).

5.3.2 Essais préliminaires

Une cinétique (essai n°6 du 06/11) a d'abord été réalisée sur deux espèces : le Bec de Cane et la Loche, afin d'observer leur comportement en ce qui concerne la teneur en sel, la teneur en eau et le pH (cf. *Figure 3*).

Interprétation des résultats

⇒ Nous n'avons effectué que trois points (30 min, 60 min et 1h) pour cette cinétique. Il serait donc précipité d'en tirer des généralités ; nous pouvons toutefois observer la tendance suivie par la teneur en sel, la teneur en eau et le pH. La teneur en sel semble atteindre un

plateau au bout d'une heure de traitement. Par contre, la teneur en eau et le pH baissent continuellement à mesure que la durée de traitement augmente.

- ⇒ Les deux produits marinés 1h30 ont été dégustés. Le Bec de Cane a été trouvé un peu fibreux au niveau de la texture ; la Loche, quant à elle, a été trouvée insuffisamment acide. Par conséquent, la durée de marinage des essais suivants sera augmentée.

5.3.3 Marinage des poissons de lagon

La plupart de nos essais de marinage portent sur la Loche, puisque les essais préliminaires nous ont montré que la texture fibreuse du Bec de Cane en faisait un poisson peu adapté à ce type de traitement ; en outre, on peut imaginer qu'il en est de même pour le Bossu. Le

Tableau 7 regroupe l'ensemble des essais réalisés.

Interprétation des résultats

- ⇒ La Loche est l'espèce la mieux adaptée au marinage parmi les trois espèces de poissons de lagon.
- ⇒ Les essais 8 et 9 nous permettent de constater l'effet d'un marinage plus poussé (même calibre, mais 30 min supplémentaires de traitement). On ne peut pas conclure sur la teneur en eau, car le sel, présent dans la solution en faible concentration, n'a pas pour rôle de déshydrater le produit comme c'est le cas dans le salage/séchage. Par contre, on remarque que la durée de traitement agit sur l'acidité du produit et sur son imprégnation en sel.

5.4 Conclusions des essais

Ces essais nous ont montré que la production de poissons salés/séchés/fumés était possible et aboutissait à des résultats tout à fait satisfaisants sur le Bossu et le Bec de Cane. Le marinage quant à lui s'applique particulièrement bien à la Loche.

Nous pouvons donc réaliser des produits destinés à être présentés au cours de la mission à Ouvéa.

Remarque

Pour des questions de temps, il ne nous a pas été possible de réaliser un suivi microbiologique sur le stockage de ces produits. Il aurait été intéressant de connaître leur durée de stabilité. En effet, leur teneur en eau est plus importante que celle du saumon, donc il leur faudrait une teneur en sel plus élevée pour avoir la même concentration en sel de l'eau du produit et donc la même A_w que ce dernier (en effet, pour une $A_w > 0.9$, l' A_w est directement liée à la concentration en sel).

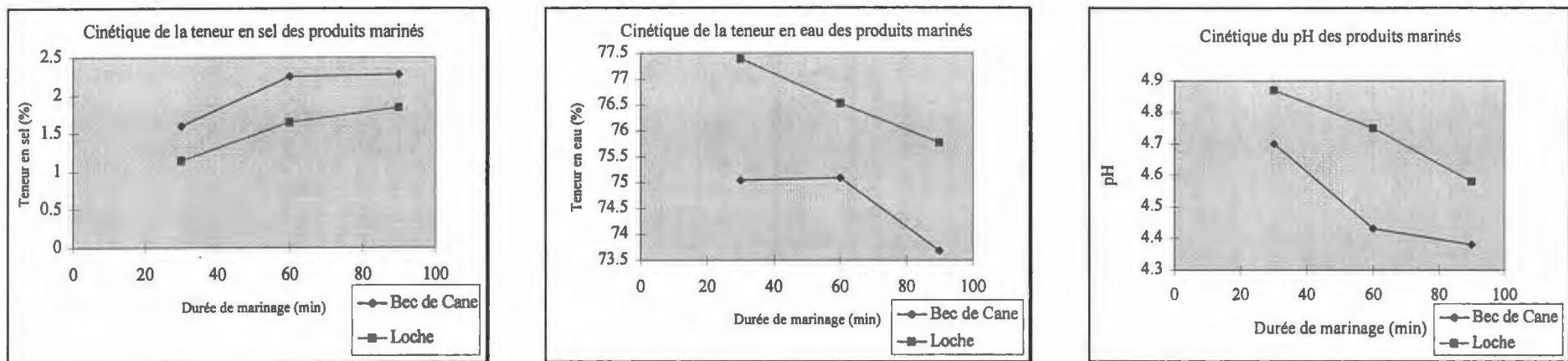


Figure 3 : Cinétiques de la T_{eau} T_{sel} et pH de deux types de poissons marinés

Essai n°	Espèce	Masse initiale moy (g)	Durée du marinage	Teau finale (%)	Tsel finale (%)	pH	Observations suite à la dégustation
8 du 13/11	Loche	370	2h30	75.6	1.6	4.6	Bien équilibré, correspond au goût local ; côté esthétique (texture, couleur) : satisfaisant
9 du 18/11	Loche	380	3h	76.2	2.4	4.4	Bonne texture ; caractère doux au niveau du goût
12 du 21/11	Bec de Cane	240	2h30	73.8	2.6	4.2	trop acide ; texture trop fibreuse

Tableau 7 : Résultats des analyses après marinage de la Loche et du Bec de Cane

6- PRESENTATION DES PRODUITS EN NOUVELLE CALEDONIE

6.1 Caractéristiques des filets présentés

Les filets destinés à être présentés en Nouvelle Calédonie au cours de la mission d'Antoine COLLIGNAN (décembre 97) ont été échantillonnés à raison d'un par série (pour des filets d'une même espèce, de calibre sensiblement identique, et traités dans des conditions similaires), ceci afin d'éviter d'en « sacrifier » un trop grand nombre (en effet, les filets ayant été échantillonnés ne sont plus considérés comme présentables). Nous avons vu que la variabilité intrinsèque des produits ne permettait pas toujours de tirer des conclusions générales sur un traitement donné : cet échantillonnage de filets « témoins » est donc une sécurité supplémentaire pour connaître aussi précisément que possible les caractéristiques des produits finis présentés.

Les essais répertoriés dans le *Tableau 6* et le *Tableau 7* illustrent l'intégralité des analyses effectuées à partir des échantillonnages, c'est-à-dire y compris les analyses effectuées sur les filets « témoins ». Ces derniers sont en réalité les essais de salage/séchage/fumage 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 7.1, 7.2, 10.1, 10.2, 11.1, et les essais de marinage 8, 9 et 12. Au total, 33 filets salés/séchés/fumés des 3 espèces et 15 filets marinés de Loche et Bec de Cane ont été présentés au cours de la mission (11.4 kg au total).

Contrairement au cas du saumon, nous n'avons pas défini ici de conditions de traitement optimales pour le salage/séchage/fumage et le marinage des poissons de lagon. En effet, ces poissons sont destinés à être consommés par la population locale (Canaques, Caldoches, Vietnamiens...) et les touristes (Japonais, Australiens...) qui ont une culture et des habitudes alimentaires différentes des nôtres. L'appréciation d'un produit alimentaire étant très subjective, nous laissons le soin aux personnes concernées de donner leur avis sur ces produits. Pour cela, nous avons décidé de leur présenter 3 grands types de filets salés/séchés/fumés :

- les produits peu transformés (7.1, 7.2) : $T_{sel} < 2 \%$
- les produits moyennement transformés (5.5, 5.6, 10.1, 10.2, 11.1) : $2 \% < T_{sel} < 3 \%$
- les produits très transformés (5.1, 5.2, 5.3, 5.4) : $T_{sel} > 3 \%$

6.2 Préparation des produits

Chaque filet a été conditionné individuellement (sous vide ou sous azote) et référencé, puis a été congelé à -18°C ; l'ensemble a ensuite été conditionné avec de la carboglace dans un carton isolé thermiquement (tapissé de plaques de polystyrène) : de cette façon, la décongélation s'est opérée progressivement depuis le départ du CIRAD jusqu'à l'arrivée en N^{elle} Calédonie.

Les produits ont été dégustés de la façon suivante : présentés sur des toasts pour les produits fumés, ou préparés avec des liquides de couverture et des condiments pour les produits marinés et accompagnés de vin blanc.

6.3 Evaluation des produits par les personnes concernées

La mission d'Antoine COLLIGNAN s'est déroulée du 27 Novembre au 10 Décembre 1997. Au cours de cette mission, des personnes susceptibles d'être intéressées par la mise en place d'une unité artisanale de DII/fumage et par la commercialisation des produits réalisés ont été rencontrées: représentants politiques de l'île, traiteurs, professionnels du tourisme, touristes japonais.

Les Nouméens ont en général bien apprécié les poissons salés/séchés/fumés ; un transformateur de Nouméa (Le Grand Large), qui produit du tazar fumé avec une technique artisanale, a été séduit par la texture du filet : à la fois ferme et moelleuse, contrairement à celle du poisson séché par la méthode traditionnelle.

Les habitants de l'île d'Ouvéa ont apprécié les deux types de produits (marinés et fumés).

Un groupe de touristes japonais a accepté de participer à une dégustation à Ouvéa. Il a trouvé étonnant le produit fumé (ce qui est compréhensible puisque cela ne correspond pas à leurs habitudes alimentaires). Il a par contre beaucoup apprécié le produit mariné.

Globalement, les personnes rencontrées au cours de cette mission ont été agréablement surprises par la qualité des produits transformés : ces espèces, habituellement communes et peu exploitées, pourraient donc être valorisées sur un marché haut de gamme.

7- TRAVAIL RESTANT A REALISER EN VUE DE L'IMPLANTATION D'UNE UNITE ARTISANALE EN NOUVELLE CALEDONIE

Cette mission nous a conforté dans l'idée selon laquelle il existe un marché pour ce type de produits : nos recherches au CIRAD ont démontré la faisabilité du projet, c'est maintenant aux investisseurs locaux de se décider.

Cependant, si nous avions disposé des délais et des moyens suffisants, nous aurions pu approfondir l'adaptation du procédé à l'échelle artisanale et au milieu tropical.

Les pistes de recherches suivantes méritent d'être étudiées :

- Elévation de la température de traitement afin d'évaluer les possibilités d'utilisation du procédé à température ambiante tropicale (25-35°C)
- Utilisation de solutés de substitution moins onéreux et plus disponibles sur l'île (en particulier pour remplacer le sirop de glucose)
- Recyclage des solutions à petite échelle pour limiter leur coût de fabrication et les nuisances sur l'environnement.

Ces pistes vont néanmoins être explorées dans le cadre des activités de recherche qu'Antoine Collignan va initier à l'île de La Réunion à partir de septembre 1998 sur la valorisation des produits animaux (viandes et poissons).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bourgeois C.M., Larpent J.P., 1989. *Le vinaigre. Microbiologie alimentaire*, Tome 2 : les fermentations alimentaires. Tec et Doc- Lavoisier, Paris, Partie II chap. 2, p. 121-136.
- Bratzler *et al.*, 1969. *Smoke flavor as related to phenol, carbonyl and acid contents of Bologna*. J. of Food Science, 34 (2).
- Collignan A., Knockaert C., Raoult-Wack A.L. & Vallet J.L., 1992. *Procédé et dispositif de salage-séchage et de fumage à froid de produits alimentaires carnés*. Brevet français n°92/08958.
- Collignan A. & Raoult-Wack A.L., 1992. *Dewatering through immersion in sugar/salt concentrated solutions at low temperatures. An interesting alternative for animal foodstuffs stabilisation*. Drying'92, A.S. Mujumdar (ed.), Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1887-1897.
- Collignan A. & Raoult-Wack A.L., 1993. *Dewatering and salting of cod by immersion in concentrated sugar/salt solutions*. Lebensm.-Wiss. u.-Technol., 27, 259-264.
- Deumier F., Rivier M., Collignan A., 1996. *Procédé de salage-séchage-fumage en continu de produits carnés ; application au traitement du hareng et du saumon*. CIRAD-SAR, Rapport n°142/96.
- Deumier F., Zakhia N. & Collignan A., 1996. *Formulation of a cured meat product by the dewatering-impregnation soaking (DIS) process. Mass transfers study and assessment of product quality*. Meat Sci., 44 (4), 293-306.
- Favetto G., Chirife J., Bartholomai G.B., 1981. *A study of water activity lowering in meat during immersion-cooking in sodium chloride-glycerol solution*. II. Kinetics of aw lowering and effect of some process variables. J. Food Technol., 16 : 621-628.
- Fourmanoir P., Laboute P., 1976. *Poissons de mers tropicales / Nouvelle-Calédonie, Nouvelles-Hébrides*. Les éditions du Pacifique, ISBN 2-85700-051-0.
- Hawkes J., Flink J.M., 1978. *Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration*. J. Food Process. Preserv., 2 : 265-284.
- Henry L., 1997. *Valorisation de poissons du lagon de l'île d'Ouvéa par salage-séchage-fumage*. CIRAD-SAR, rapport de stage, n°23/97.
- Knockaert C., 1990. *Le fumage du poisson - Valorisation des produits de la mer*. Service de la Documentation et de Publications de l'IFREMER, Plouzané, France.

- Kulbicki M., 1994. *Evaluation des ressources en poisson du lagon d'Ouvéa*. Rapport de convention sciences de la mer, ORSTOM Nouméa.. Rapport n°9, 152 p.
- Poligné I., 1997. *Etude et optimisation d'anchois faiblement marinés par Déshydratation-Imprégnation par Immersion*. Rapport de DEA « Sciences des aliments », Université Bordeaux I, CIRAD-SAR.
- Sainclivier M., 1985. *L'industrie alimentaire halieutique*. Deuxième volume : *des techniques ancestrales à leurs réalisations contemporaines*. Bulletin Scientifique et Technique, Ecole nationale Supérieure Agronomique, Rennes, France.
- Zakhia N., 1992. *Le séchage du poisson (Tilapia spp.)*. *Etude de la relation procédé-qualité du produit*. Application de terrain au Mali. Thèse de Doctorat, E.N.S.I.A..

Résumé

La Déshydratation-Imprégnation par Immersion a été appliquée à la valorisation de poissons du lagon d'Ouvéa. Le salage/séchage/fumage de ces produits a été optimisé et des essais de marinage ont été réalisés. Des produits fumés et marinés ont été préparés à Montpellier et présentés dans le cadre d'une mission en Nouvelle Calédonie. Pour leur fabrication, une petite chaîne pilote de salage/séchage/fumage et de marinage a été utilisée. Les personnes rencontrées au cours de cette mission ont été agréablement surprises par la qualité des produits transformés. Les résultats de ces travaux montrent que les espèces de poissons traitées, habituellement communes et peu exploitées, pourraient trouver une voie de valorisation sur un marché haut de gamme

Mots clés: salage séchage fumage marinage ligne pilote poisson
 lagon Nouvelle Calédonie